

Emissões de gases de efeito estufa na suinocultura brasileira: uma revisão sistemática pelo método Proknow-C

Greenhouse gas emissions from Brazilian swine production: a systematic review by Proknow-C method

Emisiones de gases de efecto invernadero en la porcicultura brasileña: una revisión sistemática mediante el método Proknow-C

Rita Therezinha Rolim Pietramale¹

Carolina Obregão da Rosa²

Gabriela Vilela dos Santos Mantovani³

Clandio Favarini Ruviano⁴

¹ Doutorado e mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). MBA em Produção de Suínos pelo IPPEO/Didatus. Graduação em Zootecnia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Dracena, SP. Bolsista de Pesquisa Inovação – Embrapa Agropecuária Oeste.

E-mail: rolimpiezoo@gmail.com, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5353-0000>

² Doutorado e mestrado em Agronegócios pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Graduação em Ciências Contábeis pela UFGD. Graduação em Administração de Empresas pelo Centro Universitário da Grande Dourados (UNIGRAN).

E-mail: carolinaobregao@gmail.com, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9945-0295>

³ Doutorando em Agronegócios pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Mestrado em Administração Pública pela UFGD. Graduação em Administração de Empresas pela UFGD. **E-mail:** vilela.gabriela@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2516-5293>

⁴ Doutorado em Agronegócios pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Especialização em Sistemas de Computação pela UFSM. MBA em Agronegócios pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Mestrado e graduação em Zootecnia pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Professor associado na Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia (FACE) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Professor e orientador no Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da UFGD; e do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da UFGD.

E-mail: clandioruviano@ufgd.edu.br, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3117-5359>

Resumo: As pesquisas sobre a produção de monogástricos e as emissões de gases de efeito estufa (GEE) originam-se de amostragens pequenas quando comparadas à abrangência nacional. Objetivou-se uma revisão sistemática sobre o uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) em produção de suínos no Brasil e as emissões de GEE. Aplicou-se o método *Proknow-C* para quantificar pesquisas e uma análise de similaridade por meio do *software VoSViewer*[®], na avaliação sistêmica de seus conteúdos. Os descritores foram liderados por “*Life cycle assessment*”, acompanhado de “*Pig Production*”, “*Swine Production*”, “*Greenhouse Gas Emissions*”, “*Piglet Production*” e “*Brazil*”. O Brasil é expressivo nos estudos sobre impactos ambientais e no desenvolvimento de tecnologias mitigatórias, mas ainda faltam resultados sobre os produtos destas tecnologias. Observou-se uma tendência em estudar o impacto da alimentação e dos sistemas de tratamentos de resíduos nas emissões de GEE. Por meio dos descritores selecionados, observou-se que ainda existem lacunas quando se fala em avaliação do ciclo de vida na suinocultura nacional.

Palavras-chave: avaliação do ciclo de vida; gases de efeito estufa; leitões desmamados; revisão sistemática; suinocultura brasileira.

Abstract: Research on monogastric production and greenhouse gases (GHG) emissions often relies on small sample sizes compared to the national scope of the activity in their countries of origin. This systematic review aimed to assess the use of Life Cycle Assessment (LCA) in Brazilian swine production and its GHG emissions. The Proknow-C method was applied to quantify research and a similarity analysis was performed using the VoSViewer[®] software to systematically evaluate the content. The descriptors were led by “*Life cycle assessment*”, followed by “*Pig Production*”, “*Swine Production*”, “*Greenhouse Gas Emissions*”, “*Piglet Production*”, and “*Brazil*”. Brazil stands out in studies on environmental impacts and the development of mitigation technologies, but there is still a lack of results on the products of these technologies. A trend has been observed to study the impact of feeding and waste treatment systems on GHG emissions. Through the selected descriptors, it was observed that there are still gaps when it comes to life cycle assessment in national pig farming.

Keywords: life cycle assessment; greenhouse gas emissions; weaned piglet; systematic review; Brazilian pig production.

Resumen: Las investigaciones sobre la producción de monogástricos y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se originan en muestras pequeñas en comparación con la cobertura nacional. Se tuvo como objetivo una revisión sistemática sobre el uso del Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) en la producción porcina en Brasil y las emisiones de GEI. Se aplicó el método *Proknow-C* para cuantificar las investigaciones y un análisis de similitud a través del *software VoSViewer*[®], para evaluar sistemáticamente sus contenidos. Los descriptores estuvieron liderados por “*Life Cycle Assessment*”, acompañado de “*Pig Production*”, “*Swine Production*”, “*Greenhouse Gas Emissions*”, “*Piglet Production*” y “*Brazil*”. Brasil es destacado en los estudios sobre impactos ambientales y en el desarrollo de tecnologías mitigadoras, pero aún faltan resultados sobre los productos de estas tecnologías. Se observó una tendencia a estudiar el impacto de la alimentación y los sistemas de tratamiento de residuos en las emisiones de GEI. A través de los descriptores seleccionados, se observaron brechas en la evaluación del ciclo de vida en la producción porcina nacional.

Palabras clave: evaluación del ciclo de vida; gases de efecto invernadero; lechones destetados; revisión sistemática; porcicultura brasileña.

1 INTRODUÇÃO

Sob a perspectiva de que a carne suína é uma das mais consumidas no mundo, muito se tem discutido sobre os reais impactos ambientais causados pela atividade. Tais abordagens referem-se ao aumento de produção global de carne suína que chegou a 109,2 Mt em 2020, mas que pode atingir cerca de 173 Mt em 2030. O aumento produtivo ocasionou estimativas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) maiores quando comparadas às de 2013, que eram de 668 Mt de CO₂ eq. e foram para 819 Mt em 2020. No entanto, as aplicações tecnológicas sobre a atividade suinícola colocaram a carne suína como uma das menos emissoras de GEE, quando se compara aos ruminantes, sendo cerca de 5.6 kg de CO₂ eq./kg de carne nos processos produtivos pré-abate.

A pesquisa científica internacional dedicou-se em aprimorar as tecnologias de produção em prol da mitigação de impactos ambientais, voltando-se para sistemas de gestão e tratamento de resíduos animais mais eficientes e manejos dos animais, de forma a aumentar a produção com menor recurso ambiental. Outra participação científica expressiva é o aperfeiçoamento de métodos de análises de impactos ambientais, muitas vezes já aplicados, mas agora mais apurados quanto aos processos produtivos. A *Food Agriculture Organization* (FAO) tem dedicado parte de suas pesquisas em busca de estimar e categorizar os potenciais impactos ambientais em números cada vez mais próximos da realidade de campo.

Realizar estudos que abarcam a sustentabilidade de produção animal tem sido um desafio, devido aos inúmeros itens que compõem tais estudos. O uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como ferramenta destas análises tem facilitado o detalhamento sobre cada processo envolvido nos sistemas produtivos agropecuários. No entanto, comparar de forma precisa os estudos que utilizam a ACV como ferramenta de análise na produção animal ainda é um desafio para os cientistas. Mas, ainda assim, a ACV é considerada um método abrangente e aceitável, sob a perspectiva global, de ser aplicado em estudos sobre a produção animal.

É perceptível que o uso da ACV tem sido mais aplicado em estudos sobre a produção de ruminantes em busca de identificar e estimar os impactos ambientais das cadeias produtivas. Porém, as diferentes formas de

produção (quanto aos aspectos dietéticos, climáticos, genéticos e regionais) são consideradas pontos divergentes ao comparar tais estudos. Ainda que haja estudos precisos, compará-los seria injusto, pois, dentro de um mesmo país, como o caso do Brasil, existem inúmeras formas de produzir proteína de origem animal. Já sobre as pesquisas voltadas para a produção de não ruminantes, essas são poucas quando se compara ao montante de estudos sobre os ruminantes. Um ponto deveras crítico quanto aos estudos sobre a produção de monogástricos refere-se ao nível de precisão dos inventários produtivos necessários ao uso da ferramenta de ACV, geralmente aplicando-se a amostragens pequenas, quando comparada à produção nacional da atividade em seus países de origem.

Assim, considerando as explanações acerca da atual situação das pesquisas científicas sobre o uso da ferramenta de ACV como método de pesquisa sobre os impactos ambientais, este estudo objetivou realizar uma revisão sistemática sobre o uso do método ACV em produção de suínos e as emissões de GEE na suinocultura industrial brasileira. Buscou-se aplicar o método *Proknow-C* na quantificação das pesquisas e na análise de seus conteúdos, abarcando a necessidade de expor onde e quando encontram-se as publicações científicas sobre a temática escolhida.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O intuito de realizar uma revisão bibliométrica sistemática é conhecer a abrangência e o impacto de determinadas áreas de pesquisa e suas relevâncias para a comunidade científica. O método de pesquisa bibliométrica tem como ponto de partida uma estruturação das buscas de conteúdos e artigos que possam quantificar o impacto que estes têm na compreensão e aplicação de inovações científicas e tecnológicas. Para realizar uma revisão sistemática, é preciso uma fundamentação sólida sobre a temática, afinal, é necessário conhecimento sobre quais descritores devem ser utilizados para as buscas de artigos. Para atender a estas demandas sobre os roteiros de pesquisas de textos acerca dos temas de pesquisa da atualidade, é preciso desenvolver questões claras e objetivas sobre o que e como conduzir na revisão bibliométrica sistematizada. A revisão sistemática faz parte da primeira

etapa de uma meta-análise, que é uma revisão com viés quantitativo, a qual busca reunir, em um único estudo, um compilado de evidências científicas quantificáveis realizadas por outros estudos já publicados.

Na condução de uma revisão bibliométrica sistemática, Linhares *et al.* (2019) utilizaram o método *Knowledge Development Process – Constructivist (Proknow-C)* (Ensslin *et al.*, 2010), que propõe ao pesquisador o desenvolvimento de um portfólio bibliográfico de uma temática, analisando os limites inerentes, em que os artigos possuam teorias e resultados validados cientificamente. Lacerda *et al.* (2012) expuseram que um tema de pesquisa interdisciplinar necessita da revisão bibliométrica sistemática por ser composto por múltiplas áreas de estudos com volumes literários extensos. O *Proknow-C* estrutura-se em 3 etapas primordiais: a seleção dos artigos, composta por um portfólio direcionado ao tema; a análise bibliométrica, que é a quantificação do estado da arte do tema dentro dos padrões adotados na pesquisa; a análise sistêmica, que é a análise do conteúdo dos artigos e que seleciona aqueles que devem compor a “discussão científica” objetivada pelas questões da pesquisa.

2.1 Desenvolvimento da pesquisa

A seleção da base de dados foi conduzida seguindo as métricas internacionais de publicação científica, sendo a *Web of Science* a escolhida, por apresentar informações quali-quantitativas, como as geográficas, além de outras métricas que esta base de dados fornece, como por área de pesquisa, periódicos, editoras etc. Neste estudo, foram selecionadas as métricas de volume de artigos publicados dentro de um período de 42 anos (1980 a 2022), além dos países que mais publicaram. E, devido à base de dados ter um impacto internacional na divulgação dos estudos, selecionou-se o idioma inglês, também por ser um idioma reconhecido mundialmente pela comunidade científica. Para iniciar a pesquisa, foi necessário selecionar um grupo de descritores ou palavras-chave, etapa que demandou um conhecimento empírico e teórico do assunto, pois dependeu do entendimento das tendências da ciência dentro da temática do estudo. Os descritores foram combinados em um grupo de pesquisa liderado por “*Life cycle Assessment*”,

acompanhado de “*Pig Production*” OR “*Swine Production*”, “*Greenhouse Gas Emissions*”, “*Piglet Production*” e “*Brazil*”.

A seleção do período de 42 anos se deu devido à década de 1980 ser palco da criação do *International Panel of Climate Change* (IPCC), que foi criado em 1988, com a finalidade de expor os resultados das pesquisas e, ainda, regulamentar os estudos voltados para as mudanças climáticas (IPCC, 2023). No entanto, as especulações sobre as mudanças climáticas começaram muito antes, na década de 1960, quando alguns cientistas expuseram modelos matemáticos para estimar o uso de recursos e as emissões por unidade de produto, um estudo realizado pela empresa Coca-Cola, com o intuito de otimizar o uso de embalagens pela empresa. Esta seleção de período para estudos de produção de suínos também foi para que não houvesse perdas de estudos devido aos anos pesquisados.

2.2 Análise qualiquantitativa

Nesta etapa do estudo, os artigos encontrados através das palavras-chave foram inseridos em uma planilha composta por informações como: nomes dos autores; títulos dos artigos; periódicos; idiomas; tipos de publicação; palavras-chave; palavras-chave adicionais; resumo; endereços; instituições de pesquisa; ano de publicação; número de citações; DOI; categorias do Web of Science. Estas informações foram utilizadas para uma análise de similaridade bibliométrica proposta por Knapczyk *et al.* (2018); Shah *et al.* (2020). A análise de similaridade bibliométrica foi realizada através do *software VoSViewer* versão 1.6.19, um programa livre que desenvolve mapas das palavras mais frequentes nos textos analisados e suas conexões.

Os gráficos resultantes demonstram, através da intensidade das cores ou dos tamanhos de bolhas, a palavra mais frequente; e, quando utilizados os gráficos de bolhas ou de imagem de dispersão, também mostram suas conexões (Knapczyk *et al.*, 2018). Foram gerados, ainda, gráficos sobre o volume de pesquisas realizadas em cada ano do período pesquisado, 1980 a 2022. Além dos gráficos de pesquisa por ano, foram gerados mapas globais com a exposição dos países que mais realizam estudos dentro de cada grupo de descritores, em que o volume de publicações é indicado pela intensidade

da cor. Ambos os gráficos, sobre os anos e sobre os países, foram realizados pelo *Excel Office 365*[®].

2.3 Análise sistêmica

Também denominada como análise de conteúdo, esta etapa consiste na leitura, seleção e discussão dos artigos finais encontrados ao direcionarmos a pesquisa bibliométrica ao ponto principal do estudo. Para que os estudos sejam mais específicos, esta etapa depende da inserção de descritores mais precisos, afinando as buscas bibliométricas reduzindo o número de artigos a serem analisados. Através dos mapas de similaridade, foi possível interpretar sobre as conexões entre os artigos. No entanto, ao aprofundar as buscas com termos mais direcionados, o volume de material foi sendo reduzido, e os artigos foram selecionados através de uma leitura sistêmica de conteúdo. O foco da leitura para a análise sistêmica foi explorar os objetivos, as metodologias e os resultados dos estudos, com foco em identificar as motivações, os meios e as conclusões dos autores.

3 RESULTADOS

3.1 Resultados bibliométricos

Apesar de ser numeroso o volume de trabalhos que mencionaram em algum momento, em seus textos, o termo “*Life Cycle Assessment*”, quando a pesquisa especifica a atividade a qual se aplicou a ACV, ocorre uma redução drástica na quantidade de artigos. Uma redução ainda maior é observada quando se especificou sobre o tema de produção de leitões, expondo apenas 2 e 3 estudos, de acordo com a combinação dos descritores (Tabela 1).

Tabela 1 - Combinações de descritores e o número de artigos publicados entre os anos de 1980 e 2022

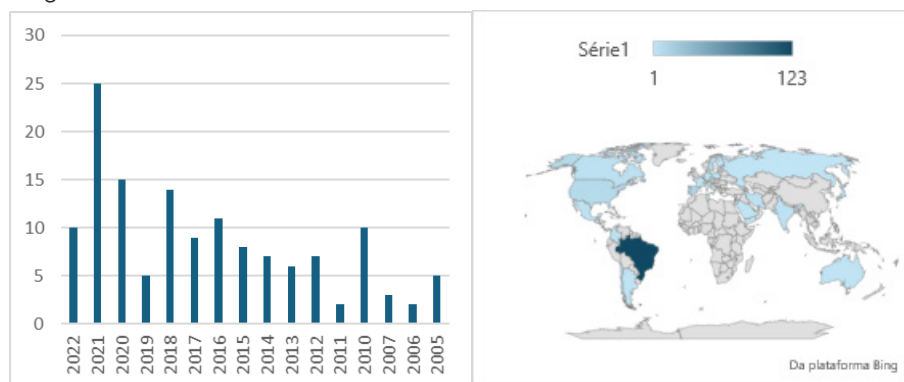
Palavras-Chave	Anos
	1980 a 2022
“ <i>Life Cycle Assessment</i> ”	33811

Palavras-Chave	Anos
	1980 a 2022
<i>"Life Cycle Assessment" AND "Pig Production" OR "Swine Production"</i>	139
<i>"Life Cycle Assessment" AND "Pig Production" OR "Swine Production" AND "Brazil"</i>	18
<i>"Life Cycle Assessment" AND "Greenhouse Gas Emissions" AND "Pig Production" OR "Swine Production"</i>	42
<i>"Life Cycle Assessment" AND "Greenhouse Gas Emissions" AND "Pig Production" OR "Swine Production" AND "Brazil"</i>	2
<i>"Life Cycle Assessment" AND "Greenhouse Gas Emissions" AND "Pig Production" OR "Swine Production" AND "Piglet Production"</i>	3

Fonte: elaborado pelo autor.

Ao realizar as buscas por estudos que tiveram como principal termo *"Life Cycle Assessment"* e combiná-los com *"Pig Production"* ou *"Swine Production"*, identificou-se que as pesquisas se intensificaram a partir de 2010 (Figura 1). O Brasil lidera o *ranking* de países com maior número de estudos dentro da temática, com 123 dos 139 estudos (Figura 1).

Figura 1 - Resultado da busca dos termos *"Life Cycle Assessment" AND "Pig Production" OR "Swine Production"*

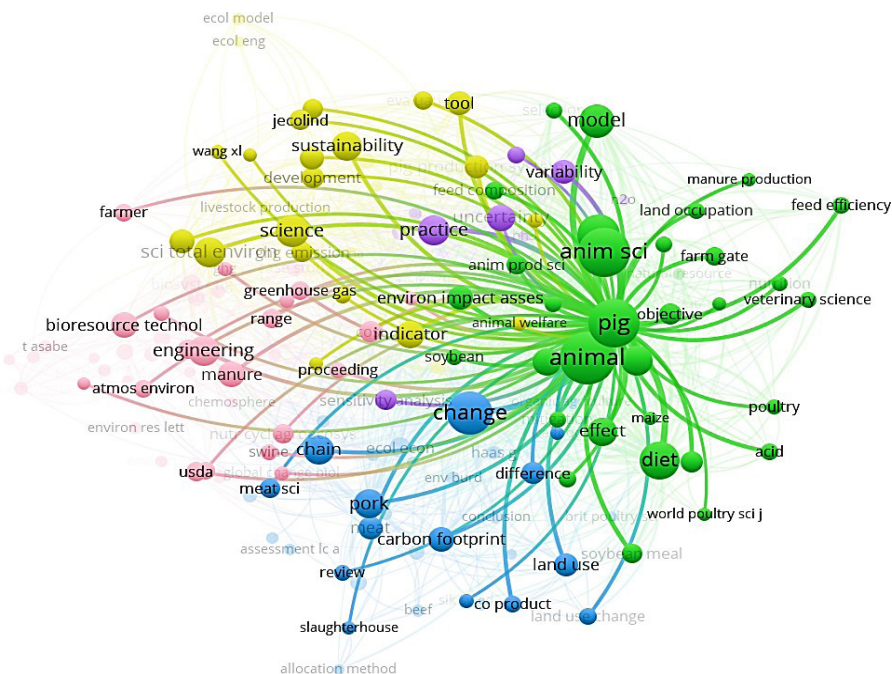


Fonte: elaborado pelo autor.

Observando-se o mapa de similaridade, nota-se que a palavra *"Animal"* e *"Pig"* se relacionam a manejo produtivo, eficiência alimentar, avaliação

de impacto ambiental, pegada de carbono, uso da terra, sustentabilidade, gases de efeito estufa e biossegurança tecnológica (Figura 2). Estas ligações comprovam que os 139 artigos encontrados têm alguma menção à ACV e produção de suínos.

Figura 2 - Gráfico de similaridade: “Life Cycle Assessment” AND “Pig Production” OR “Swine Production”

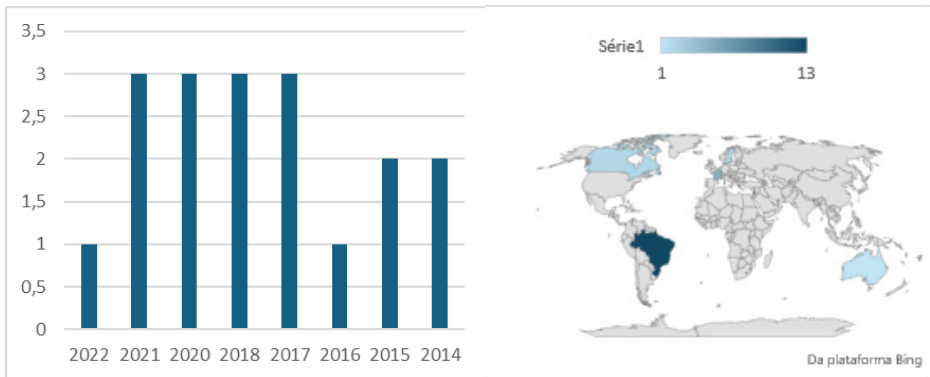


Fonte: elaborado pelo autor.

Ao se explorar os 139 artigos e reduzi-los para 18 documentos científicos, observou-se que, entre estes, apenas 3 contêm estudos voltados especificadamente para o resíduo suíno, e 4 voltam-se para a produção de leitões desmamados. Dentre os 4 voltados para a produção de leitões desmamados, 2 artigos foram também identificados quando a busca se voltou para a produção de matrizes suínas.

A redução do volume de artigos de 139 para 18 publicações científicas aconteceu a partir da inserção do termo “Brazil”, sendo a maioria de estudos publicados entre os anos de 2017 e 2021 (Figura 3).

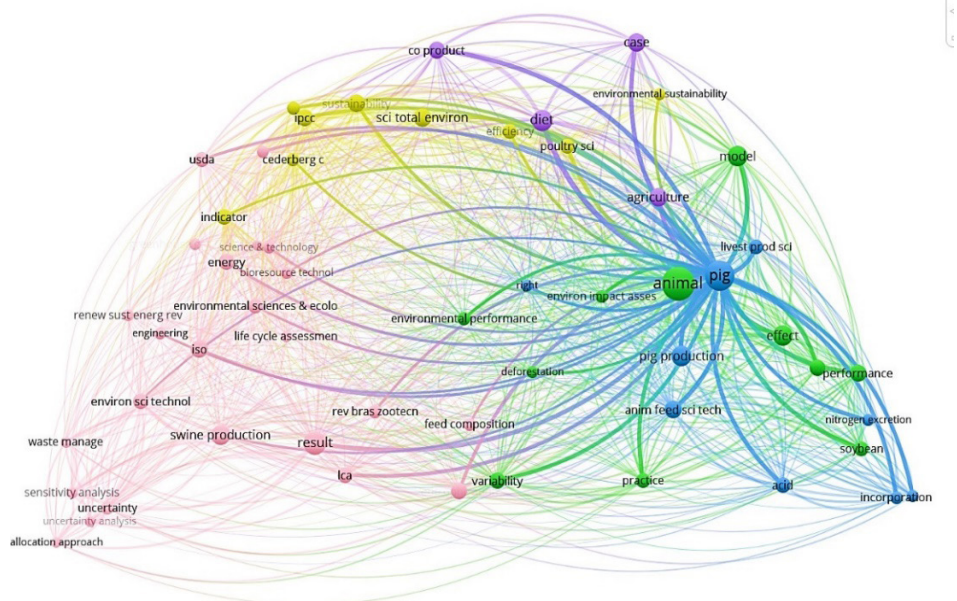
Figura 3 - Resultado da busca dos termos “Life Cycle Assessment” AND “Pig Production” OR “Swine Production” AND “Brazil”



Fonte: elaborado pelo autor.

As palavras mais mencionadas nos estudos foram “animal” e “pig”, e elas se relacionam fortemente aos termos “deforestation”, “environmental performance”, “nitrogen excretion”, “environmental impact” e, menos fortemente, com “waste management”, “environmental sustainability”, “swine production” e “life cycle assessment” (Figura 4). O gráfico de similaridade expõe que os 18 artigos se conectam e que as palavras “animal” e “pig” se relacionam a termos em todos os *clusters* do gráfico (Figura 4). A especificação de busca que resultou em maior volume de artigos foi quando o descritor “Environmental Impact” foi inserido nas pesquisas, com 12 artigos encontrados na base de dados.

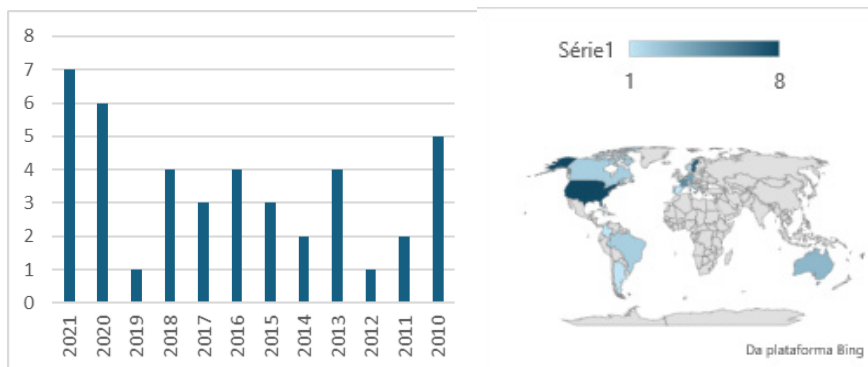
Figura 4 - Gráfico de similaridade: “Life Cycle Assessment” AND “Pig Production” OR “Swine Production” AND “Brazil”



Fonte: elaborado pelo autor.

Incluir o termo “Greenhouse Gas Emissions”, após “Life Cycle Assessment” e antes de “Pig Production” ou “Swine Production”, expôs que 42 artigos mencionam estes descritores em algum momento do texto. Os estudos dividiram-se na linha do tempo, tendo como auge de publicações o ano de 2021 (Figura 5). Quanto à localização geográfica das pesquisas, observou-se uma concentração nos EUA e na Suécia, seguidos pela França e Holanda; o Brasil representou, nestes 42 estudos, com 2 artigos (Figura 5).

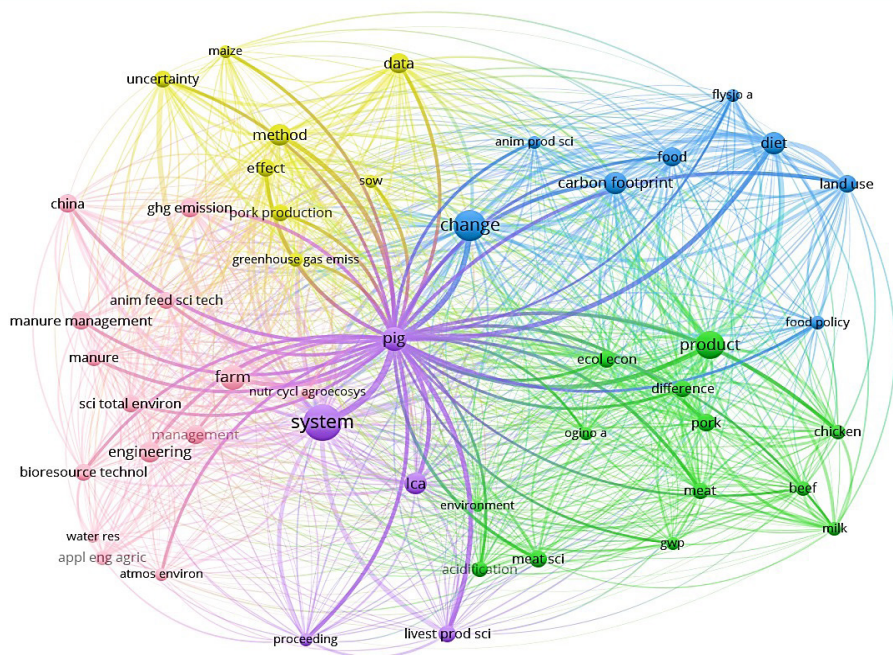
Figura 5 - Resultado da busca dos termos “Life Cycle Assessment” AND “Greenhouse Gas Emissions” AND “Pig Production” OR “Swine Production”



Fonte: elaborado pelo autor.

A centralização da palavra “Pig” no mapa de similaridade (Figura 6) e suas ligações diretas com pegada de carbono, emissões de gases de efeito estufa, manejo de resíduos, meio ambiente e uso da terra mostra que o estreitamento das buscas, na sequência de *LCA*, *GHG* e “*pig production*” ou “*swine production*”, resultou em artigos cujas palavras mais citadas no texto estão de acordo com o objetivo da pesquisa. Aderindo as palavras expostas no mapa de similaridade, ao especificar a busca a partir da combinação destes 3 descritores, identificou-se que 39 citaram “*environmental*”, 13 citaram “*manure management*”, 14 “*carbon footprint*” e 12 “*land use*”, havendo repetições de aparecimento dos artigos nestas buscas.

Figura 6 - Gráfico de similaridade: “Life Cycle Assessment” AND “Greenhouse Gas Emissions” AND “Pig Production” OR “Swine Production”



Fonte: elaborado pelo autor.

3.2 Análise sistemática de conteúdo

Os estudos encontrados a partir das palavras-chave “Life Cycle Assessment”, “Pig Production” ou “Swine Production” e “Brazil” expuseram que os objetivos de pesquisa que foram mais estudados estão relacionados à alimentação dos animais. Cerca de 8 dos 18 artigos estudaram como a alimentação dos suínos pode participar das emissões da atividade suinícola e alguns corroboraram para a busca de métodos de mitigação das emissões de GEE. Já os estudos que buscaram estimar os impactos ambientais a partir da análise dos sistemas de tratamentos de dejetos suínos somam 3 artigos publicados. Os artigos que avaliaram o impacto ambiental da suinocultura através das rações foram Pietramale *et al.* (2021); Cherubini *et al.* (2015a); Ali *et al.* (2017); Ali *et al.* (2018); Andretta *et al.* (2018); Cadero *et al.* (2020);

Monteiro, Dourmad e Pozza (2017); Monteiro, Fachinello e Diaz-Huepa (2017); e Garcia-Launay *et al.* (2014).

Pietramale *et al.* (2021) avaliaram somente a emissão de GEE para o consumo de rações durante um período cujas fêmeas não se encontravam produtivas (vazias e não lactantes), denominado de Dias Não Produtivos (DNPs). Os resultados foram que, em média, cada kg de leitão desmamado emitiu cerca de 0,77 kg de CO₂ eq. somente nos dias referentes aos DNPs, que foram de aproximadamente 33,57 dias/ano. O consumo de ração para esta emissão foi de 1,36 kg de ração/fêmea/DNP, totalizando 45,6 kg de rações e 172,55 kg de CO₂ eq./fêmea/ano, com uma perda de 0,55 kg de leitões/fêmea/ano. Já Cherubini *et al.* (2015a) estudaram diferentes níveis de farelo de soja em 4 diferentes formulações na dieta de leitões em fase de terminação, com uma unidade funcional (UF) de 30 kg de ganho de peso vivo (GO). A maior fonte de emissão foi o milho, devido ao seu alto percentual de composição nas diferentes rações (cerca de 70,8%), seguido do farelo de soja e do amido de milho, respectivamente. Os autores concluíram que as emissões foram diretamente influenciadas pelo desempenho alimentar e que a dieta é a principal fonte de emissão do sistema estudado.

Ali *et al.* (2017) e Ali *et al.* (2018) estudaram a substituição de ingredientes convencionais para outros alternativos na dieta de suínos, em prol de mitigar os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas. Os autores realizaram um experimento, o qual resultou nas duas publicações identificadas neste estudo, sendo uma relacionada a uma avaliação econômico-ambiental e a outra somente para a análise do impacto ambiental dessas substituições. Em ambos os artigos, as dietas alternativas destinaram-se a animais na fase de engorda e/ou terminação. As rações com composições alternativas resultaram em menores emissões de gases de efeito estufa para o processamento e a criação animal, mas maiores emissões para o manejo de resíduos. A dieta com inclusão de torta de macaúba foi menos emissora para os cenários com e sem avaliação do uso da terra, seguida da dieta baseada em coprodutos e a dieta de referência, respectivamente.

Cadéro *et al.* (2020) identificaram, ao estudarem diferentes condições de alimentação e de *status* sanitário de rebanhos suínos, uma influência desses aspectos nas emissões, sendo que lotes saudáveis e com diferentes

formas de fornecimento das dietas mitigaram as emissões de GEE. Já Andretta *et al.* (2018) observaram que substituir o sistema de alimentação convencional para um de alimentação de precisão promoveu redução das emissões, com devidas diferenças causadas pela localização geográfica de cada cenário do estudo. Monteiro, Fachinello e Diaz-Huepa (2017) abordaram sobre o desempenho de leitões em fase de creche em relação ao consumo de proteína bruta (PB) com adição de aminoácidos industriais (AAI) e aos impactos ambientais. Nesse estudo, os autores realizaram dois ensaios, os quais se dividiram em desempenho e no balanço de nitrogênio de fósforo. No primeiro ensaio, foram 28 animais divididos em 4 tratamentos, já no segundo foram utilizados 20 animais divididos, também, em 4 tratamentos. Como resultado, Monteiro, Fachinello e Diaz-Huepa (2017) identificaram que a redução de PB com a suplementação de AAI pode reduzir os impactos ambientais.

Sobre os estudos voltados para os dejetos suínos, um abordou o uso do biofertilizante resultante dos tratamentos aplicados aos resíduos orgânicos, o de Geremias e Nordberg (2020), no qual se identificou que o uso de tratamento por biodigestão promoveu uma redução de cerca de 81% das emissões de GEE em relação ao cenário de referência. Esta redução foi fortemente influenciada pela produção de energia e calor que supriram as demandas por eletricidade dos cenários. Já outro estudo, de Cherubini *et al.* (2015b), abordou sistemas de tratamentos dos dejetos, a fim de procurar expor as tecnologias de manejo dos resíduos animais em leitões em fase de crescimento, pontuando as diferenças entre 4 modelos de tratamento utilizados no Brasil. Hollas *et al.* (2023) abordaram o uso do biometano como recurso para produção de energia elétrica e as possibilidades de redução de emissão através dessa tecnologia. O restante dos artigos foi dividido em estudos mais generalizados sobre regiões, sistemas, métodos de análise de impactos ambientais e o impacto econômico-social da atividade suinícola.

Assim, os autores se voltaram para temas como contrastes de países/regiões produtoras de suínos, como Monteiro *et al.* (2016), que buscaram expor as diferenças de produção de suínos em dois *players* da atividade e da pesquisa suinícola, União Europeia (França) e Brasil. Já os que buscaram avaliar os métodos de análise de impactos ambientais aplicaram o método

da contabilidade emergética de uma unidade de produção agropecuária que produz o ingrediente, processa a ração e alimenta diferentes culturas animais, avicultura de postura, suinocultura, bovino de leite e de corte, como o de Almeida *et al.* (2020). Observou-se um estudo sobre a avaliação da atividade suinícola convencional e orgânica na Suécia, procurando identificar os impactos sobre a sustentabilidade da suinocultura em diferentes sistemas de produção (Zira *et al.*, 2021).

Dois estudos não se aplicavam a sistemas de produção de suínos, regiões e/ou países produtores, dietas ou resíduos orgânicos; eles buscaram se utilizar de pesquisas já realizadas para revisão sistemática, que foi o de Andretta *et al.* (2021), e para uma análise de incerteza sobre os métodos de ACV aplicados (Cherubini *et al.*, 2018). A revisão sistemática de Andretta *et al.* (2021) focou em expor os países que mais publicaram estudos que utilizaram ACV como método de avaliação de impactos ambientais relativos à produção suinícola. Diferentemente, o estudo de Cherubini *et al.* (2018) procurou verificar a sensibilidade e a incerteza de dois métodos de avaliação: sendo o primeiro uma abordagem de alocação; e o segundo utilizando a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). É importante ressaltar que um estudo foi excluído da análise de conteúdo por não possuir informações sobre suinocultura em seu conteúdo.

Tabela 2 - Artigos selecionados para avaliação sistemática de conteúdo

Autores	Títulos	Objetivos
Monteiro, Fachinello e Diaz-Huepa (2017)	<i>Environmental impact based on life cycle assessment of starting pig production receiving diets with reduced crude protein content.</i>	Avaliar o impacto ambiental causado pela produção de suínos em fase inicial da terminação, através da redução de níveis de proteína bruta da dieta dos animais.
Geremias e Nordberg (2020)	<i>Climate impact assessment of a pig manure storage system substituted with anaerobic digestion – a case study in Santa Catarina, Brazil</i>	Avaliar e comparar o impacto sobre as mudanças climáticas ao substituir o manejo tradicional por um cenário de biodigestão anaeróbia para produção de energia e de biofertilizante em uma pequena propriedade de produção de leitões no Estado de Santa Catarina.

Autores	Títulos	Objetivos
Zira et al. (2021)	<i>A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden</i>	Avaliar a sustentabilidade ambiental, econômica e social da carne suína convencional e orgânica na Suécia.
Cherubini et al. (2015a)	<i>Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems</i>	Avaliar o impacto ambiental da produção de suínos no Brasil baseado na Avaliação do Ciclo de Vida, comparando quatro sistemas de manejo de dejetos.
Monteiro et al. (2016)	<i>Effect of feeding strategy on environmental impacts of pig fattening in different contexts of production: evaluation through life cycle assessment</i>	O objetivo deste estudo foi avaliar esses efeitos em 2 contextos geográficos contrastantes de produção, América do Sul (Brasil) e Europa (França).
Andretta et al. (2018)	<i>Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production</i>	Avaliar o efeito que a mudança de sistemas convencionais para sistemas de alimentação de precisão durante a fase de crescimento e terminação teria sobre o potencial impacto ambiental da produção de suínos.
Monteiro, Dourmad e Pozza (2017)	<i>Life cycle assessment as a tool to evaluate the impact of reducing crude protein in pig diets</i>	Realizar uma revisão sobre técnicas de nutrição e seu potencial em reduzir o potencial de aquecimento global da produção de suínos, considerando os efeitos diretos, relacionados à escolha dos ingredientes da ração, e os efeitos indiretos, relacionados às mudanças na eficiência de uso de nutrientes pelos animais.
Hollas et al. (2022)	<i>Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production</i>	Avaliar a viabilidade ambiental de cinco estações de tratamento de biogás utilizando resíduos da produção de suínos através de uma avaliação do ciclo de vida (LCA), comparando a geração de eletricidade e biometano como pontos críticos para promover mudanças na matriz energética nacional.

Autores	Títulos	Objetivos
Garcia-Lau-nay et al. (2014).	<i>Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig. production using Life Cycle Assessment</i>	Avaliar o impacto ambiental da produção de suínos em uma granja convencional através da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), em vários cenários de incorporação de aminoácidos na dieta.
Andretta et al. (2021)	Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review	Construir uma revisão sistemática de manuscritos revisados por pares que investigaram os impactos ambientais associados à produção de suínos e aves.
Pietramale et al. (2021)	<i>How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production?</i>	Estimar o consumo diário de ração das porcas e a quantidade de ração consumida durante seus dias não produtivos, correlacionando esses resultados com as emissões de gases de efeito estufa.
Cherubini et al. (2018)	<i>Uncertainty in LCA case study due to allocation approaches and life cycle impact assessment methods</i>	Avaliar a incerteza e a sensibilidade no LCA de produção de suínos devido a duas escolhas metodológicas: a abordagem de alocação e o método de avaliação de impacto do ciclo de vida (LCIA).
Cherubini et al. (2015b)	<i>The finishing stage in swine production influences of feed composition on carbon footprint</i>	O objetivo deste estudo foi calcular a pegada de carbono da etapa de acabamento em produção de suínos considerando quatro cenários de composição alimentar.
Almeida et al. (2020)	<i>Integrating or Des-integrating agribusiness systems: Outcomes of emergy evaluation</i>	Avaliar, por meio da contabilidade emergética, uma agroindústria produtora de milho, ovos, carne suína e leite.
Ali et al. (2018)	<i>A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance</i>	Desenvolveu-se um modelo de produção bioeconômico estocástico para uma produção convencional de suínos do início ao fim, avaliando o impacto das inovações nos lucros privados e sociais.
Ali et al. (2017)	<i>Environmental and economic impacts of using co-products in the diets of finishing pigs in Brazil</i>	Avaliar os impactos ambientais e econômicos da utilização de coprodutos existentes e novos na dieta de suínos no Brasil.

Autores	Títulos	Objetivos
Cadero <i>et al.</i> (2020)	<i>Effects of interactions between feeding practices, animal health and farm infrastructure on technical, economic and environmental performances of a pig-fattening unit</i>	Quantificar como as interações entre as práticas alimentares e o manejo animal influenciam os resultados da unidade de engorda que considera a variabilidade individual no desempenho entre os suínos, as práticas alimentares dos produtores e o manejo animal, estimando os impactos ambientais (usando avaliação do ciclo de vida) e resultados econômicos.

Fonte: elaborado pelo autor.

4 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Dentre os artigos selecionados para análise sistêmica, dois estavam relacionados a revisões sobre o tema Avaliação do Ciclo de Vida na suinocultura, a revisão sistemática de Andretta *et al.* (2021) e a revisão de literatura de Monteiro *et al.* (2017). O estudo de Andretta *et al.* (2021) expõe que, até o ano de 2020, 1.710 artigos sobre ACV e suinocultura haviam sido publicados e expostos na base de dados *Web of Science*. Segundo os resultados de Andretta *et al.* (2021), o primeiro artigo sobre esta temática foi publicado em 2005, corroborando com os resultados deste estudo, o qual identificou 5 artigos publicados no ano de 2005 utilizando o método de ACV para análise de impacto da atividade suinícola. Já a revisão de literatura de Monteiro *et al.* (2017) procurou abordar o tema focando em estudos que se baseassem na dieta como método de mitigação de impactos ambientais e as consequências sobre quais e como os ingredientes são aproveitados pelos animais.

Outros artigos já haviam abordado a ACV, relacionando-a à atividade suinícola em textos de revisões, sistemáticas e não sistemáticas. Dentre eles, McAuliffe *et al.* (2017) abordaram 3 diferentes frentes de pesquisa, sendo a primeira sobre a produção de rações, a segunda sobre o manejo dos animais e a terceira sobre o manejo de resíduos, que concluíram que a diferença

entre os métodos de avaliação variava entre *softwares* e precisão, e a representatividade dos bancos de dados dificultou a discussão aprofundada do estudo. Antes de McAuliffe (2017), Reckman, Traulsen e Krieter (2012) discorreram sobre uma pequena amostra de artigos europeus, os quais focaram em estimar as emissões médias de GEE por quilograma da carne suína, que variou de 2,6 kg a 6,3 kg, além de evidenciar a variabilidade das limitações apresentadas pelos estudos.

Apesar de a amostra de artigos que abordaram a ACV, a suinocultura e o Brasil ser pequena, os resultados exemplificaram o que já vem sendo pesquisado sobre o tema em território nacional. Se o objetivo fosse reunir trabalhos realizados globalmente, cerca de 121 trabalhos seriam avaliados e exclusões por falta de conteúdo relacionado ao tema seriam feitas. No entanto, ao especificar usando o termo “*Review*” na combinação “*Life Cycle Assessment*” AND “*Pig Production*” OR “*Swine Production*”, apenas 13 artigos foram encontrados, e, desses, somente 4 focam na suinocultura e 3 são de assuntos generalizados referentes ao impacto ambiental da produção animal.

5 CONCLUSÃO

Através dos descritores selecionados para esta revisão sistemática, foi possível observar que ainda existem lacunas a serem preenchidas pela ciência quando se fala em avaliação do ciclo de vida na suinocultura nacional. Sobre temas mais específicos da atividade suinícola, como estudos por fases, poucos artigos mencionam tais etapas da atividade em suas análises, mas somente um realizou um estudo preciso sobre etapas de produção da suinocultura. Este único artigo é pouco amplo no quesito atividade suinícola, mas bastante abrangente quanto ao número de animais presentes no estudo. No entanto, seu foco é apenas em um indicador reprodutivo, expondo um resultado condizente somente a uma pequena parte do processo. Desta forma, explicações como estas, as quais abordam os estudos, possibilita a conclusão sobre a necessidade de pesquisas com expressividade nacional sobre a suinocultura brasileira, mas com precisão de processos, tanto nas etapas referentes aos animais como nas que se referem aos tratamentos dos resíduos.

Outra conclusão oportunizada foi a de que aplicar a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida é um processo amplo, detalhado, que exige conhecimento aprofundado de cada etapa de uma atividade, e a suinocultura abrange tecnologias distintas em diferentes etapas, que, ao serem observadas separadamente, não parecem se complementar em um único propósito. O Brasil tem sido expressivo nos estudos sobre impactos ambientais, bem como no desenvolvimento destas tecnologias, mas ainda faltam resultados mais precisos sobre os produtos do uso destas tecnologias. Metodologias foram desenvolvidas, porém separadamente aplicadas em diferentes estudos, abrindo a lacuna sobre como seriam os resultados se estas tecnologias fossem avaliadas em uma única pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

Este trabajo se realizó con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALI, B. M.; BERENTSEN, P. B. M.; BASTIAANSEN, J. W. M.; A. LANSINK, A. O. A stochastic bio-economic pig farm model to assess the impact of innovations on farm performance. *Animal*, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 819-30, 2018. DOI: 10.1017/S1751731117002531

ALI, B. M.; ZANTEN, H. V.; BERENTSEN, P.; BASTIAANSEN, J. W. M.; BIKKER, P.; LANSINK, A. O. Environmental and economic impacts of using co-products in the diets of finishing pigs in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 162, p. 247-59, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.06.041

ALMEIDA, C. M. V. B.; FRUGOLI, A. D.; AGOSTINHO, F.; LIU, G. Y.; GIANNETTI, B. F. Integrating or Des-integrating agribusiness systems: Outcomes of emergy evaluation. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 729, p. 138733, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138733

ANDRETTA, I.; HAUSCHILD, L.; KIPPER, M.; PIRES, P. G. S.; POMAR, C. Environmental impacts of precision feeding programs applied in pig production. *Animal*, [S. l.], v. 12, n. 9, p. 1990-998, 2018. DOI: 10.1017/s1751731117003159

ANDRETTA, I.; HICKMANN, F. M. W.; REMUS, A.; FRANCESCHI, C. H.; MARIANI, A. B.; ORSO, C.; KIPPER, M.; LÉTOURNEAU-MONTMINY, M.-P.; POMAR, C. Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights from a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*, [S. l.], v. 8, 2021. DOI: 10.3389/fvets.2021.750733

CADÉRO, A.; AUBRY, A.; DOURMAD, J. Y.; SALAÜN, Y.; GARCIA-LAUNAY, F. Effects of interactions between feeding practices, animal health and farm infrastructure on technical, economic and environmental performances of a pig-fattening unit. *Animal*, [S. l.], v. 14, p. s348-s359, 2020. DOI: 10.1017/s1751731120000300

CHERUBINI, E.; FRANCO, D.; ZANGHELINI, G. M.; SOARES, S. R. Uncertainty in LCA case study due to allocation approaches and life cycle impact assessment methods. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [S. l.], v. 23, n. 10, p. 2055-70, 2018. DOI: 10.1007/s11367-017-1432-6

CHERUBINI, E.; ZANGHELINI, G. M.; ALVARENGA, R. A. F.; FRANCO, D.; SOARES, S. R. Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. *Journal of Cleaner Production*, [S. l.], v. 87, p. 68-77, 2015a. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.035

CHERUBINI, E.; ZANGHELINI, G.; TAVARES, J.; BELETTINI, F.; SOARES, S. The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. *Environment, Development and Sustainability*, [S. l.], v. 17, n. 6, p. 1313-328, 2015b. DOI: 10.1007/s10668-014-9607-9

ENSSLIN, L. *et al.* ProKnow-C, Knowledge Development Process—Constructivist: processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Rio de Janeiro: [S. n.], 2010.

GARCIA-LAUNAY, F.; VAN DER WERF, H. M. G.; NGUYEN, T. T. H.; LE TUTOUR, L.; DOURMAD, J. Y. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. *Livestock Science*, [S. l.], v. 161, p. 158-75, 2014. DOI: 10.1016/j.livsci.2013.11.027

GEREMIAS, R.; NORDBERG, Å. Climate impact assessment of a pig manure storage system substituted with anaerobic digestion – a case study in Santa Catarina, Brazil. *International Journal of Environmental Technology and Management*, [S. l.], v. 23,

n. 5/6, p. 414, 2020. DOI: 10.1504/ijetm.2020.114141

HOLLAS, C. E.; RODRIGUES, H. C.; BOLSAN A. C.; VENTURIN, B.; BORTOLI, M.; ANTES, F. G.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. Swine manure treatment technologies as drivers for circular economy in agribusiness: A techno-economic and life cycle assessment approach. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 857, p. 159494, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.159494

INTERNATIONAL PANEL OF CLIMATE CHANGE [IPCC]. History. *IPCC*, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/history/>. Acesso em: 5 fev. 2023.

KNAPCZYK, A.; FRANCIK, F.; PEDRYC, N. HEBDA, T. Bibliometric analysis of research trends in engineering for rural development. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, 17., 2018, [S. l.]. *Proceedings [...]*. [S. l.]: Latvia University of Agriculture, 2018. DOI: 10.22616/erdev2018.17.n389

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012. DOI: 10.1590/s0104-530x2012000100005

LINHARES, J. E.; PESSA, S. L. R.; BORTOLUZZI, S. C.; LUZ, R. P. Capacidade para o trabalho e envelhecimento funcional: análise Sistêmica da Literatura utilizando o PROKNOW-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*). *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 53-66, jan. 2019. DOI: 10.1590/1413-81232018241.00112017

MCAULIFFE, G. A.; TAKAHASHI, T.; MOGENSEN, L.; HERMANSEN, J. E.; SAGE, C. L.; CHAPMAN, D. V.; LEE, M. R. F. Environmental trade-offs of pig production systems under varied operational efficiencies. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], v. 165, p. 1163-173, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.191.

MONTEIRO, A. N. T. R.; DOURMAD, J.-Y.; POZZA, P. C. Life cycle assessment as a tool to evaluate the impact of reducing crude protein in pig diets. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 47, n. 6, 2017. DOI: 10.1590/0103-8478cr20161029

MONTEIRO, A. N. T. R.; FACHINELLO, M. R.; DIAZ-HUEPA, L. M. 509 Environmental impact based on life cycle assessment of starting pig production receiving diets with reduced crude protein content. *Journal of Animal Science*, [S. l.], v. 95, suppl. 4, p. 248, 2017. DOI: 10.2527/asasann.2017.509.

MONTEIRO, A. N. T. R.; GARCIA-LAUNAY, F.; BROSSARD, L.; WILFART, A.; DOURMAD,

J.-Y. Effect of feeding strategy on environmental impacts of pig fattening in different contexts of production: evaluation through life cycle assessment1. *Journal of Animal Science*, [S. l.], v. 94, n. 11, p. 4832-847, 2016. DOI: 10.2527/jas.2016-0529

PIETRAMALE, R. T. R.; CALDARA, F. R.; BARBOSA, D. K.; ROSA, C. O. How much the reproductive losses of sows can be impacting the carbon footprint in swine production? *Livestock Science*, [S. l.], v. 250, n. 1, p. 104594, 2021. DOI: 10.1016/j.livsci.2021.104594

RECKMANN, K.; TRAUlsen, I.; KRIETER, J. Environmental Impact Assessment – methodology with special emphasis on European pork production. *Journal of Environmental Management*, [S. l.], v. 107, p. 102-109, set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.015>.

SHAH, S. H. H.; LEI, S.; ALI, M.; DORONIN, D.; HUSSAIN, S. T. Prosumption: bibliometric analysis using HistCite and VOSviewer. *Kybernetes*, [S. l.], v. 49, n. 3, p. 1020-45. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1108/k-12-2018-0696>.

ZIRA, S.; RYDHMER, L.; IVARSSON, E.; HOFFMANN, R.; RÖÖS, E. A life cycle sustainability assessment of organic and conventional pork supply chains in Sweden. *Sustainable Production and Consumption*, [S. l.], v. 28, p. 21-38, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.03.028